

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月 7日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-030816  
Application Number:

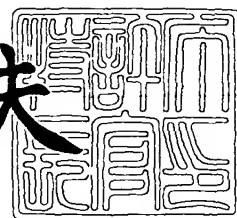
[ST. 10/C] : [JP 2003-030816]

出願人 株式会社フジクラ  
Applicant(s):

2003年 8月 5日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 20030029

【提出日】 平成15年 2月 7日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明の名称】 光導波路の製造方法

【請求項の数】 6

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 福田 武司

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 佐久間 健

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内

【氏名】 細谷 英行

【特許出願人】

【識別番号】 000005186

【氏名又は名称】 株式会社フジクラ

【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108578

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 詔男

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100089037

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 隆

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100101465

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 正和

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704943

【プルーフの要否】 要

【書類名】明細書

【発明の名称】光導波路の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】透明材料内部にフェムト秒レーザ光を集光照射し、高屈折率領域を誘起することにより光導波路を形成する光導波路の製造方法において、

フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを変化させて、形成される光導波路の導波光のモードフィールド径の縦横比を制御することを特徴とする光導波路の製造方法。

【請求項 2】フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$  以下にして、モードフィールド径の縦横比をほぼ 1 とし、モードフィールドを円形にすることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 3】フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$  以上にして、モードフィールド径の縦横比を 1 以上とし、モードフィールドを橢円形にすることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 4】透明材料が  $\text{SiO}_2$  を主成分とするガラス材料であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の光導波路の製造方法。

【請求項 5】ガラス材料が石英ガラスであることを特徴とする請求項 4 記載の光導波路の製造方法。

【請求項 6】請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の製造方法で製造された光導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、フェムト秒レーザを用いて石英ガラスなどの透明材料中に光導波路を形成する光導波路の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

フェムト秒レーザ光の集光照射による光導波路を製造する方法は、石英ガラスなどの各種透明材料内部に高強度のフェムト秒レーザ光を集光照射することにより、集光点付近で屈折率が上昇する現象を利用している。この現象を利用して、フェムト秒レーザ光を透明材料内部に集光照射し、フェムト秒レーザ光あるいは透明材料を走査することにより、線状の屈折率上昇領域、つまり光導波路を形成することができる（特許文献1参照）。

#### 【0003】

この方法による光導波路の製造においては、集光照射するフェムト秒レーザ光の「平均出力」、「パルス幅」、「繰り返し周波数」、「中心波長」などの各種パラメータ、フェムト秒レーザ光を集光するための集光レンズの開口数などの集光光学系の条件、フェムト秒レーザ光または透明材料の走査速度などにより、誘起される屈折率変化量や屈折率変化領域の形状が決定される。

#### 【0004】

近年、フェムト秒レーザ光の各種パラメータの最適化により、集光部の屈折率上昇領域の形状を制御しようとする試みがなされている。例えば、特願2002-247403号には、石英ガラス内部に集光照射されるフェムト秒レーザ光のパルス幅だけを変化させることにより、誘起される光導波路の屈折率変化領域（導波光に垂直な面内での屈折率分布）の形状を変化させ、得られる光導波路のモードフィールド径を制御できることが開示されている。

#### 【0005】

また、特開2001-350049号公報（特許文献2）には、石英ガラスを載せたステージの動きに同期させて、集光照射するフェムト秒レーザ光の平均出力を変化させることにより、光導波路の屈折率変化領域の形状をなだらかに変化させることができ、その結果フェムト秒レーザ光の平均出力変化に伴い、光導波路のモードフィールド径を変化させることができ、光導波路と光ファイバとの接続損失を低減できることが記載されている。

#### 【0006】

##### 【特許文献1】

特開平9-311237号公報

**【特許文献2】**

特開2001-350049号公報

**【0007】****【発明が解決しようとする課題】**

ところで、フェムト秒レーザ光の集光において、集光レンズの収差などの影響により集光点でのフェムト秒レーザ光の強度分布は必ずしも円形にならない。集光点におけるフェムト秒レーザ光の強度分布に起因して、誘起される屈折率上昇領域の形状は変化すると考えられる。すなわち、集光点でのフェムト秒レーザ光の強度分布が円形でない場合には、得られる光導波路の屈折率分布が適切にはならず、光導波路の導波光のモードフィールドが円形にならないと考えられる。

**【0008】**

また、この方法により製造された光導波路を実際の光通信システムへ応用するには、光導波路単独で使用するのではなく、光ファイバなどの各種光部品と接続することが必要である。光ファイバなどの光部品の屈折率分布は、一般に円形であるので、光導波路のモードフィールドが円形でないと、接続部分での損失が増大したり、偏波モード分散が大きくなる問題がある。

**【0009】**

よって、この発明における課題は、フェムト秒レーザ光の集光照射によって透明材料内部に光導波路を形成する際に、得られる光導波路のモードフィールドの形状を制御できるようにし、モードフィールドの形状を円形や橍円形に制御できるようにすることにある。

**【0010】****【課題を解決するための手段】**

かかる課題を解決するため、

請求項1にかかる発明は、透明材料内部にフェムト秒レーザ光を集光照射し、高屈折率領域を誘起することにより光導波路を形成する光導波路の製造方法において、フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを変化させて、形成される光導波路の導波光のモードフィールド径の縦横比を制御することを特徴とする光導波路の製造方法である。

**【001.1】**

請求項2にかかる発明は、フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$ 以下にして、モードフィールド径の縦横比をほぼ1とし、モードフィールドを円形にすることを特徴とする請求項1記載の光導波路の製造方法である。

**【001.2】**

請求項3にかかる発明は、フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$ 以上にして、モードフィールド径の縦横比を1以上とし、モードフィールドを楕円形にすることを特徴とする請求項1記載の光導波路の製造方法である。

**【001.3】**

請求項4にかかる発明は、透明材料がSiO<sub>2</sub>を主成分とするガラス材料であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の光導波路の製造方法である。

**【001.4】**

請求項5にかかる発明は、ガラス材料が石英ガラスであることを特徴とする請求項4記載の光導波路の製造方法である。

請求項6にかかる発明は、請求項1ないし5のいずれかに記載の製造方法で製造された光導波路である。

**【001.5】****【発明の実施の形態】**

以下、本発明を詳しく説明する。

図1は、この発明の光導波路の製造方法を実施するための装置の例を示すもので、図中符号1は、フェムト秒レーザ光源を示す。このフェムト秒レーザ光源1は、例えば波長800nm、繰り返し周波数200kHz、パルス幅150fsのフェムト秒レーザ光を発振するものである。

**【001.6】**

このフェムト秒レーザ光源1からのフェムト秒レーザ光は、NDフィルタ2を経て、その出力が減衰、調整されたのち、ハーフミラー3で反射されて、集光レ

ンズ4に送られるようになっている。

### 【0017】

この集光レンズ4は、凸レンズであり、これに入射されたフェムト秒レーザ光は、ここで集光されたうえ出射され、透明材料である石英ガラス板5に入射されるようになっている。この石英ガラス板5は、三次元微動ステージ6上に固定されており、X方向、Y方向およびZ方向に微動できるようになっている。

### 【0018】

また、図中符号7は、CCDカメラなどのビデオカメラであって、フェムト秒レーザ光を石英ガラス板5に集光照射した際に、石英ガラス板5内部の集光点から発生する白色光をハーフミラー3を介して受光して撮影し、集光点での反応状態を監視できるようになっている。

### 【0019】

この装置を用いてフェムト秒レーザ光を石英ガラス板5に集光照射する際、本発明では、フェムト秒レーザ光の集光点でのピークパワーを変化させることにより、得られる光導波路の導波光のモードフィールドの形状を制御する。この集光点でのピークパワーを変化させるには、集光レンズ4に入射されるフェムト秒レーザ光の平均出力を変化させればよい。

### 【0020】

具体的な集光点でのフェムト秒レーザ光のピークパワーの算出は、以下の計算式（1）、（2）および（3）によって行うことができる。

$$\text{集光点の径 (m)} = \text{フェムト秒レーザ光の光強度分布のガウス分布からのずれ} \times \text{波長 (m)} \div \text{集光レンズの開口数} \div \pi \quad \dots \quad (1)$$

$$\text{集光前のフェムト秒レーザ光のピークパワー (W)} = \text{集光レンズ直後のフェムト秒レーザ光の平均出力 (W)} \div \text{繰り返し周波数 (Hz)} \div \text{パルス幅 (s)} \quad \dots \quad (2)$$

$$\text{集光点でのピークパワー (W/m}^2) = \text{集光前のフェムト秒レーザ光のピーク}$$

パワー (W) ÷ 集光点の面積 (m<sup>2</sup>) . . . (3)

#### 【0021】

上記(1)式でのフェムト秒レーザ光の光強度分布のガウス分布からのずれは、集光前のフェムト秒レーザ光の光強度分布を測定し、これから計算して求められる。(2)式での集光レンズ直後のフェムト秒レーザ光の平均出力は、パワーメータで実測して求められる。

これ以外のパラメータの値は、使用する装置の諸元等から求められる。

#### 【0022】

そして、後述する具体例から明らかなように、集光点でのフェムト秒レーザ光のピークパワーが小さくなるにつれて、得られる光導波路の導波光のモードフィールド径の縦横比が減少し、1に近似していき、そのピークパワーが8.7×10<sup>11</sup>W/cm<sup>2</sup>以下で縦横比が1となり、円形のモードフィールドとなる。また、ピークパワーを8.7×10<sup>11</sup>W/cm<sup>2</sup>以上とすると、縦横比が1よりも大きくなり、橢円形のモードフィールドとなる。

#### 【0023】

ここでの光導波路の導波光のモードフィールドは、透明材料中に形成された光導波路に光を導波して、出射側のニアフィールドパターンをビデオカメラで測定し、得られたニアフィールドパターンにおける光強度が1/e<sup>2</sup>になる幅をモードフィールド径とすることで求められる。

#### 【0024】

そして、フェムト秒レーザ光の入射方向を光導波路の「深さ方向」とし、これに直交する方向を「幅方向」として、「深さ方向」と「幅方向」とのニアフィールドパターンからそれぞれ「深さ方向のモードフィールド径」と「幅方向のモードフィールド径」とが求められる。そして、この両者の比をモードフィールド径の縦横比と定義する。

したがって、この縦横比が1の場合は、モードフィールドの形状は円形となり、1よりも大きい場合には深さ方向が長軸となる橢円形となる。

#### 【0025】

このような光導波路の製造方法によれば、フェムト秒レーザ光の集光点のピー

クパワーを変化させることにより、得られる光導波路の導波光のモードフィールドの形状を制御でき、この形状を円形や橙円形とすることができます。

#### 【0026】

そして、そのピークパワーを  $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$  以下とすることで円形のモードフィールドが得られ、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$  以上とすることで、橙円形のモードフィールドが得られる。

#### 【0027】

また、このフェムト秒レーザ光の集光点でのピークパワーの制御は、集光レンズ4通過前のフェムト秒レーザ光の平均出力を変化させることで行うことができ、この集光レンズ4通過前のフェムト秒レーザ光の平均出力を変化させることは、例えば透過率の異なるNDフィルタ2を用いることで可能になる。勿論、光源1でフェムト秒レーザ光の出力を変化させても良い。

#### 【0028】

以下、具体例を示す。

図1に示す装置を使用し、フェムト秒レーザ光源1で中心波長800nm、繰り返し周波数200kHz、パルス幅150fsのフェムト秒レーザ光を発振させ、このフェムト秒レーザ光の光路中に透過率の異なる数種のNDフィルタ2を挿入し、フェムト秒レーザ光の平均出力を80～800mWに減衰させ、開口数0.5の凸レンズからなる集光レンズ4に入射し、ここで集光して厚さ1mmの石英ガラス板5の表面から30μmの深さに集光入射した。

#### 【0029】

石英ガラス板5を載せた三次元微動ステージ6をX方向に速度30μm/sで移動し、レーザ集光点の位置を相対移動させることで、長さ25mmの光導波路を作製した。また、集光レンズ4の通過前後のフェムト秒レーザ光の平均出力をパワーメータで測定した。このフェムト秒レーザ光の平均出力を、表1に示した。

#### 【0030】

【表1】

集光レンズ前の 平均出力 [mW]	集光レンズ後の 平均出力 [mW]	集光点でのピークパワー [W/cm <sup>2</sup> ]
800	131	$8.7 \times 10^{12}$
635	104	$6.9 \times 10^{12}$
400	66	$4.4 \times 10^{12}$
318	52	$3.5 \times 10^{12}$
253	41	$2.7 \times 10^{12}$
80	14	$8.7 \times 10^{11}$

## 【0031】

つぎに、上記(1)、(2)および(3)式を用い、これに上記パラメータ等を代入し、フェムト秒レーザ光の集光点でのピークパワーを算出した。

まず、(1)式で集光点の径を算出したところ、 $1.5 \mu\text{m}$ となった。(1)式でのフェムト秒レーザ光の光強度分布のガウス分布からのすれば、集光レンズ通過前のフェムト秒レーザ光の光強度分布をパワーメータで測定して算出した。

## 【0032】

次に、(2)式で集光前のフェムト秒レーザ光のピークパワーを求めた。集光レンズ直後のフェムト秒レーザ光の平均出力は表1に示した数値を採用した。最後に、(3)式でフェムト秒レーザ光の集光点でのピークパワーを算出した。この値は表1に示してある。

## 【0033】

このようにして、集光レンズ4に入射するフェムト秒レーザ光の平均出力を調整して作製した光導波路に、波長1550nmの測定光を導波して、出射側のニアフィールドパターンをCCDカメラで撮影し、これからモードフィールド径を求めた。さらに、このモードフィールド径から上述の方法によりモードフィールド径の縦横比を計算した。

## 【0034】

そして、上述の計算によって算出されたフェムト秒レーザ光の集光点でのピークパワーと、ニアフィールドパターンを測定して得られたモードフィールド径の縦横比との関係を求め、これを図2に示した。

### 【0035】

図2のグラフから、フェムト秒レーザ光の集光点でのピークパワーが小さくなるに従い、モードフィールド径の縦横比が減少する傾向があり、ピークパワーが  $8.7 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$  で縦横比がほぼ1になり、モードフィールドの形状が円形となることが明らかになった。

### 【0036】

また、このグラフから、そのピークパワーを  $8.7 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$  以上とすることで、橢円形のモードフィールドが得られることがわかり、橢円形のモードフィールドを有する光導波路を作製したときは、ピークパワーを  $8.7 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$  以上とすればよいことになる。

### 【0037】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明の光導波路の製造方法によれば、フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを変化させて、形成される光導波路の導波光のモードフィールド径の縦横比を制御することができる。

### 【0038】

そして、ピークパワーを  $8.7 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$  以下にすれば、モードフィールド径の縦横比をほぼ1とし、モードフィールドを真円状にすことができ、ピークパワーを  $8.7 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$  以上にすれば、モードフィールド径の縦横比を1以上とし、モードフィールドを橢円状にすことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光導波路の製造方法に用いられる装置の例を示す概略構成図である。

【図2】本発明の具体例の結果を示す図表である。

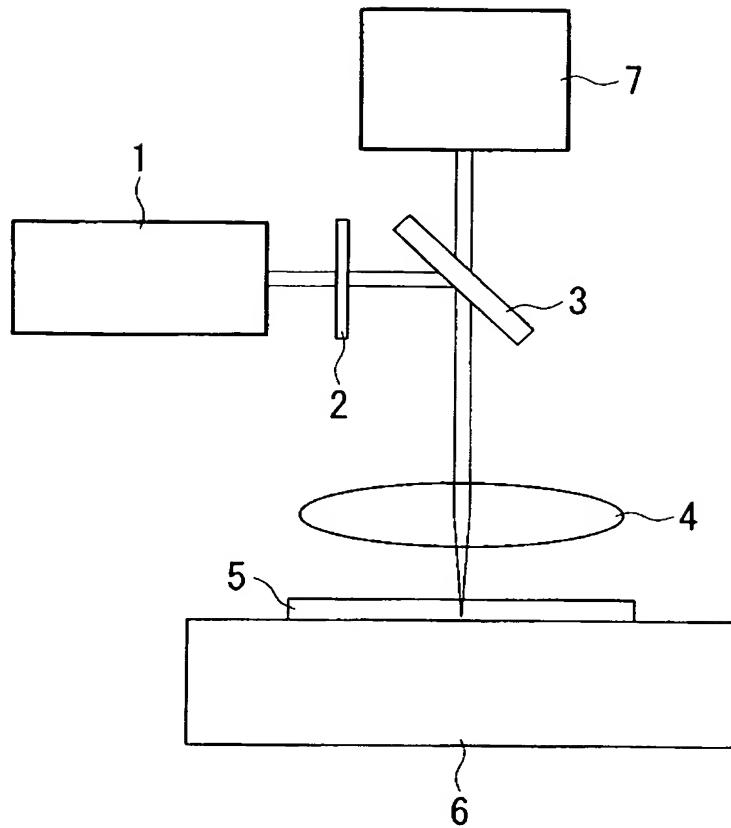
#### 【符号の説明】

1・・・フェムト秒レーザ光源、2・・・NDフィルタ、4・・・集光レンズ、

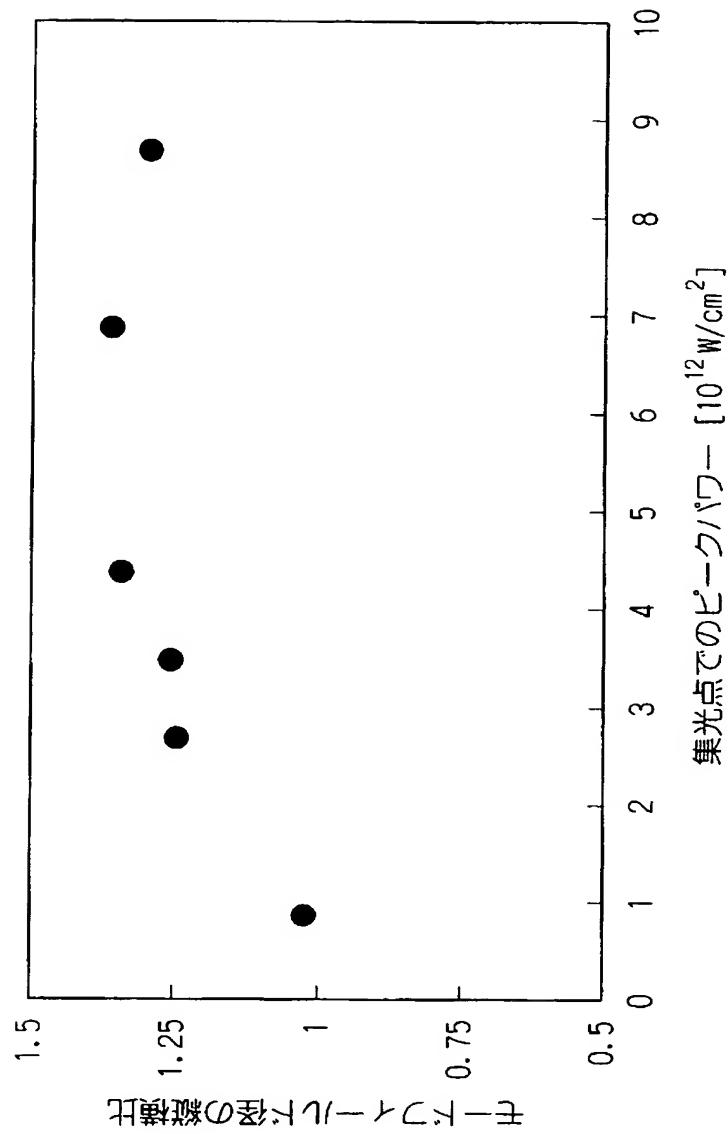
5・・・石英ガラス板、6・・・三次元微動ステージ。

【書類名】 図面

【図 1】



【図2】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 フェムト秒レーザ光の集光照射によって透明材料内部に光導波路を形成する際に、得られる光導波路のモードフィールドの形状を制御できるようにし、モードフィールドの形状を円形や楕円形に制御できるようにすることにある。

【解決手段】 石英ガラス板5などの透明材料内部にフェムト秒レーザ光を集光照射し、高屈折率領域を誘起することにより光導波路を形成する際、フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを変化させて、形成される光導波路の導波光のモードフィールド径の縦横比を制御する。フェムト秒レーザ光の集光点におけるピークパワーを、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$  以下にして、モードフィールド径の縦横比をほぼ1とし、モードフィールドを円形にするか、あるいはピークパワーを、 $8.7 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$  以上にして、モードフィールド径の縦横比を1以上とし、モードフィールドを楕円形にすることができる

【選択図】 図1



特願 2003-030816

出願人履歴情報

識別番号

[000005186]

1. 変更年月日	1990年 8月 16日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名	藤倉電線株式会社
2. 変更年月日	1992年 10月 2日
[変更理由]	名称変更
住 所	東京都江東区木場1丁目5番1号
氏 名	株式会社フジクラ